تحسين معامل القدرة

Improving Power Factor

اعداد

المهندس : نجاة عثمان

المقدمة

الطاقة الكهربائية بحد ذاتها وبغض النظرعن كيفية توليدها طاقة نظيفة وغيرملوثة للبيئة وغالبا ما تصل الى المستهلك بسهولة ولايعرف قيمتها

ولا يستفاد منها المستهلك بصورة صحيحة وتهدر جزءا منها لاهماله او لعدم معرفته في كيفية الاستفادة من هذه الطاقة بشكل صحيح وعلمي وهومحسوب عليه!

وهذا الهدر للطاقة له اشكال واسباب كثيرة ومتنوعة والبحث هنا في تاثير معامل القدرة عليه وكيفية تحسينها :

هناك اخطاء تصميمية في اللوحات الرئيسية حيث لاياخذ معامل القدرة بنظر الاعتبار وخاصة في المعامل و التي فيها ماطورات ثلاثي الاطوار وفي الابنية الكبيرة ويتسبب فقدا كبيرا في الطاقة وحملا زائدا على خطوط النقل والمحولات ومحطات التوليد وزيادة الكلفة على المستهلك والهبوط في الجهد.

وابين هنا المقصود من القدرة و معامل القدرة واثرها وكيفية تحسينها بربط المتسعات والطرق الموجودة للربط وكيفية حساب قيم المتسعات

على امل ان يكون نافعا لكل من يريد معرفة كيفية تحسين معامل القدرة

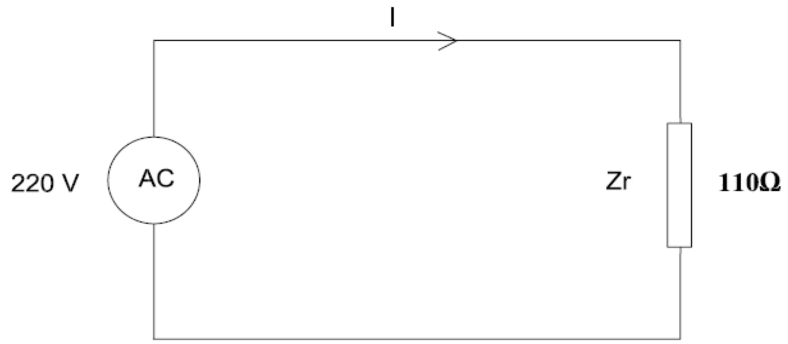
القدرةالكهربائية

القدرة في دارات التيار المتردد

اولا: في دارات Active power

الحمل المقاوم النقي بدون معاوقة حثية او سعوية

نفترض ان لدينا دارة تيار متردد Single phase ذات مصدر 220 فولت 50 هرتز بمقاومة قدرها 110 اوم



Z_R هي معاوقة الحمل

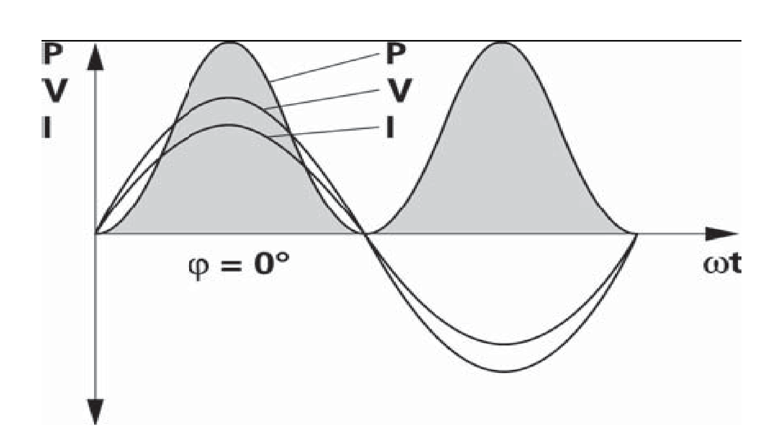
Z_R=110Ω + J0Ω
Or
Z = 110 ∠ 0^0

Z هي معاوقة الـدارة

∵ I=E/Z
I= 220 V /110 Ω =2A

تبين ان تيار الحمل يساوي 2 أمبير والقدرة التي تصرف في الحمل هي :

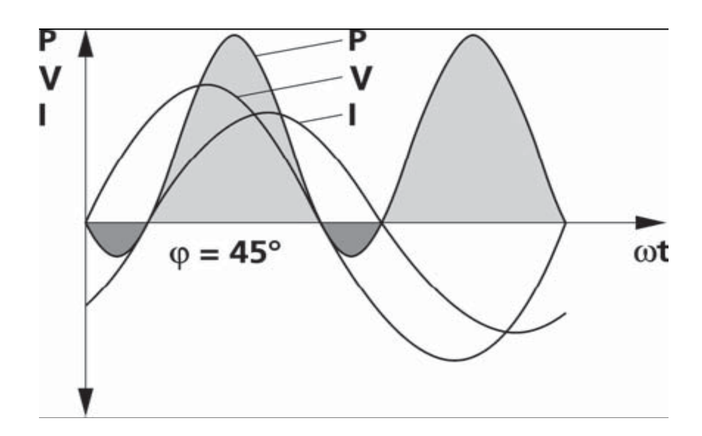
$P = I^2R = 440$ Watt



في هذه الحالة نلاحظ ان قيمة القدرة تساوي حاصل ضرب كل من التيار والجهد ولا تاخذ قيمة سالبة لان حاصل ضرب سالبين موجب ، وترددها ضعف تردد المصدر ، ولا يوجد فرق طور بين التيار والجهد و تسمى هذا النوع من القدرة ب Active power وتحول كليا الى نوع اخر من الطاقة ك(الحرارة ، الاضاءة ، الحركة .... الخ) ووحدة قياسها هي (KVA).

ثانيا: في دارات (Active and reactive power)

وعمليا قلما تجد دارة نقية وهي مقاومة بحتة الا وتختلط معها معوقات حثية او سعوية لان المستهلك بحاجة الى مجالات مغناطيسية في المحركات والمحولات ..... الخ.

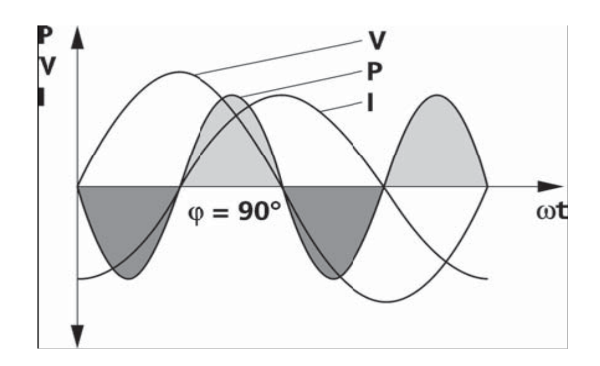


شكل موجة التيار يبين تاخيرها عن موجة الجهد بزاوية (φ) والقدرة ليست حاصل ضرب التيار مع الجهد فقط بل يدخل معه معامل (factor) آخر

P=I*V*cos φ

ثالثا: في دارات (Reactive power)

هذه القدرة الحثية الانعكاسية (الارتدادية) تحدث داخل الماطورات والمحولات الكهربائية عند عملهما في حالة اللاحمل (No-Load) ، بتجاهل مفاقيد النحاس و القلب الحديدي و الاحتكاك، وتوصف بالقدرة التي تتدفق بين المولدة (المصدر) والمستهلك وبنفس تردد جهد المصدر وذلك لنشوء المجال المغناطيسي / الكهربائي وتلا شيه.



سيكون فرق الطور بين موجة الفولتية والتيار90^0 ، وفي هذه الحالة محصلة ال (reactive power) ستكون صفر لان الجزء الموجب من موجة القدرة يلغي الجزء السالب من الموجة، اي ان الاحمال السعوية والحثية (المتسعات والملفات) لا تهدر فيها اية طاقة ويرمز لها ب (Q) ووحدة قياسها هي (VAr) (Volt-Amps-reactive)

Q=V*I*SIN φ

القدرة الحقيقية (true power)

القدرة الفعلية التي تستعمل في الدارة وتسمى بالقدرة الحقيقية ترمز لها ب(P) ووحدة قياسها (Watt)

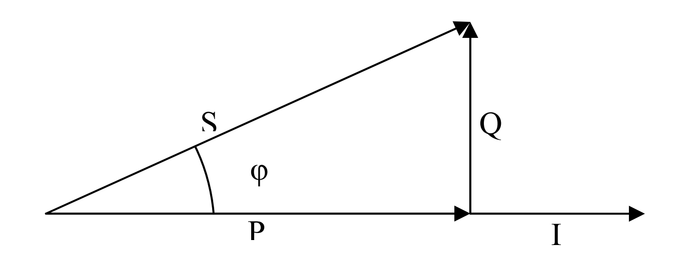
القدرة الظاهرة (Apparent power) :

هي القدرة الحرجة في تخمينها داخل شبكات القدرة الكهربائية عند اختيار المولدات، المحولات، القواطع، الكونتكترات وحساب مساحة مقاطع اسلاك النقل والتوصيل لاي نظام، ويرمز لها ب(S) ووحدة قياسها (VA):

$$S_{VA}=V_V*I_A$$

وهي حاصل ضرب الجهد والتيار وعدم اخذ فرق الطور بينهما في الاعتبار

(مثلث القدرة Power triangle) :



وتحسب(S) من هذه المعادلة ايضا؛

$$S_{[VA]} =\sqrt{P^2_{[W]}+Q^2_{[VAr]}}$$

معامل القدرة Power factor (cosφ)

هو cosine زاوية ازاحة الطور بين التيار والجهد ويعتبر انسب معامل لحساب مكونات القدرة الفعالة والغير الفعالة من التيار والجهد، وفي الهندسة الكهربائية العملية اصبح هذا المعامل رمزاً لمعامل القدرة

$$COS\varphi = P/S_{[W]/[VA]}$$

ومعامل القدرة لأي ماطور مكتوب على لوحة بياناته (nameplate) وتوجد اجهزة و meters رقمية وتناظرية لقياس معامل القدرة تثبت على اللوحات الرئيسية لقياس معامل القدرة الكلية للمنظومة شكل 1

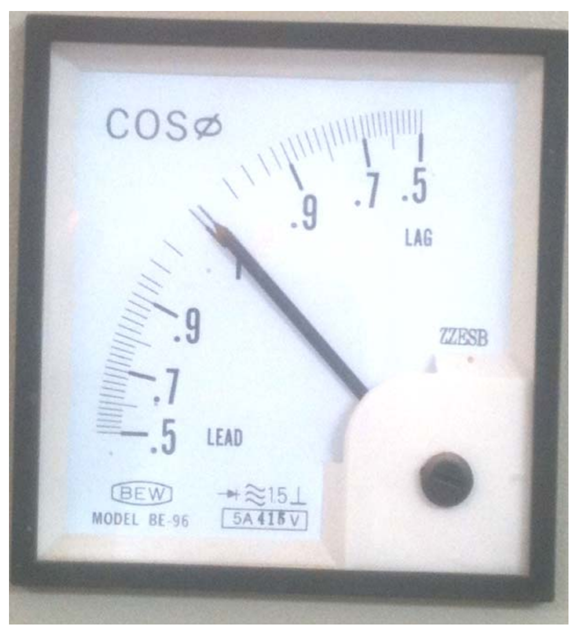


Figure1

تصحيح معامل القدرة (Power factor correction)

في انظمة نقل القدرة (POWER DISTRIBUTION SYSTEM) يؤخذ كل الاعتبارات ويبذل اقصى جهود لنقل وحمل القدرة الظاهرة (Apparent power) وجعلها فى ادنى مستوى لها، وهذا يكون بجعل معامل القدرة (COSφ) مساوية لواحد عند المستهلك.

كما تبين ان فرق الطور الذي يحصل بين التيار والجهد سببه معوقات حثية وغالبا مايأتي من استخدام الموطورات وبربط مكثفات على التوازي مع الحمل بعد اختيارها على نحو ملائم نتمكن من تقليص زاوية فرق الطور φ، واذا استطعنا جعل COSφ=1 فان reactive current يتداور بين المكثفات والحمل عند المستهلك، وبذلك ترتاح خطوط النقل ويقل التيار المار خلالها، ويكون تيارالمار active current وتقل الكلفة.

اي نسبة من reactive current اذا تداول بين محطات توليد ونقل الطاقة و المستهلك يتحول الى الحرارة في خطوط النقل و يكون حملا اضافيا على المولدات والمحولات واسلاك التوصيل،ويحدث فقد في الطاقة والهبوط في الجهد ويكون سببا في بعض الاعطال، فترتفع كلف الصيانة.

مثال على تاثيرتصحيح معامل القدرة

لو فرضنا ان لدينا ماطورا بقدرة تساوي 100kw

Power factor ($cos\varphi=0.7$)

والجهد 400V

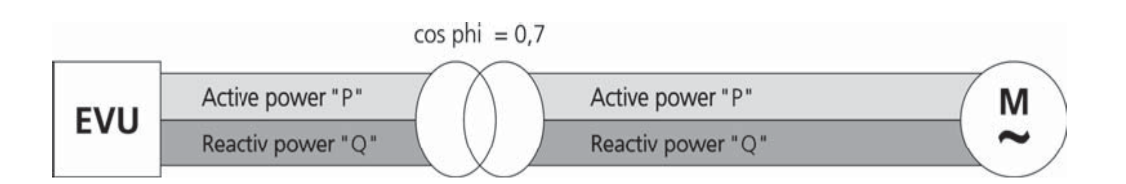
$P=I*V*\cos\varphi$

$I=100000/400*0.7=357.14A$

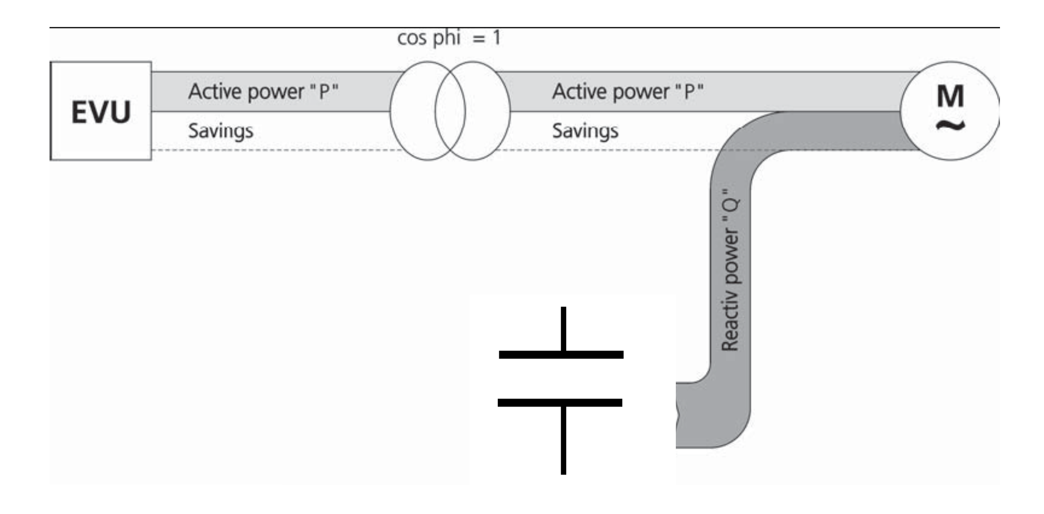
فعند $\cos\varphi=1$

$I=100000/400*1=250A$

نلاحض ان التيار انخفض بشكل كبير(ثلث قيمة التيار) فبدوره تنخفض الكلفة وتقل حرارة الاسلاك وترتاح خطوط النقل والمولدات والمحولات والكونتكترات والقواطع ويمكن اضافة احمال اخرى.



Active and reactive power in the power distribution system: without compensation



Active and reactive power in the power distribution system: with correction

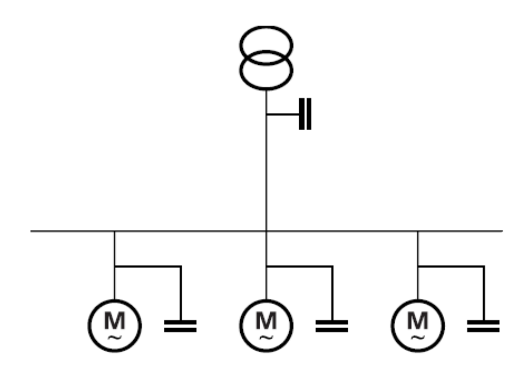
طرق ربط المتسعات لتصحيح معامل القدرة

هناك ثلاث طرق لربط المتسعات

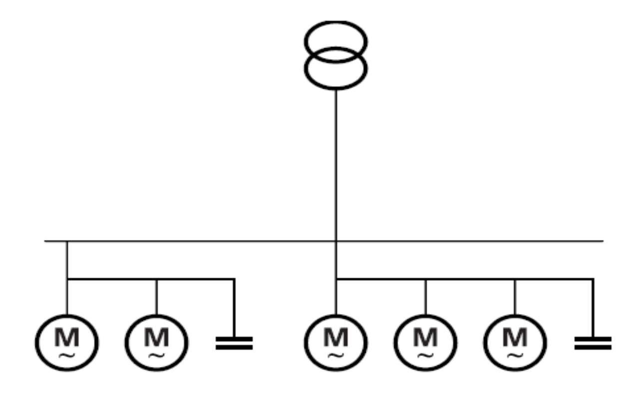
1- الربط المباشر (الثابت)
2- الربط الاوتوماتيكي
3- الربط المختلط

1- الربط الثابت

في ابسط الحالات تربط المتسعات الكافية والمحسوبة سابقا مباشرة على التوازي مع كل حمل على حدة
* يستخدم لتعويض **no load reactive power** للمحولات
* الماطورات التي تعمل بشكل مستمر
* الماطورات التي لها كابلات توصيل قدرة طويلة ذات مساحة المقطع غيركافية لتقبل الخطا



من ميزات هذه الطريقة
ويمكن ربطها على شكل مجموعات كالاتي ويجب ان تعمل كل مجموعة معا

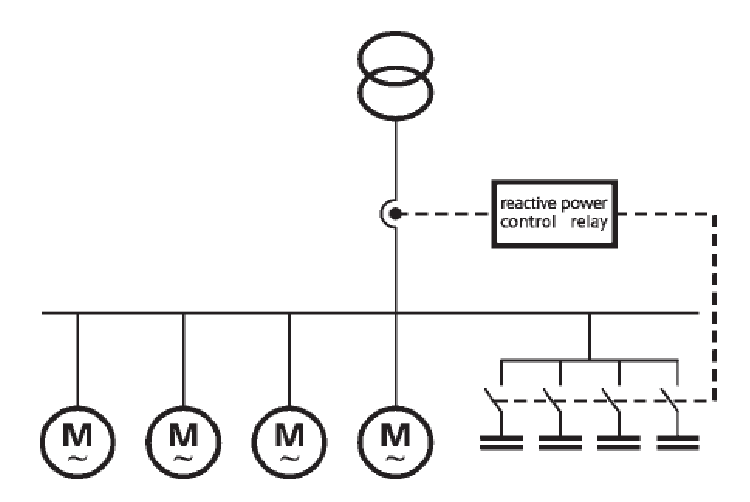


من ميزاته

- التخلص من **reactive power** قرب الحمل ولا يتاثر خطوط التوصيل
- قلة التكلفة

2- الربط الاوتوماتيكي

في هذه الحالة يفترض وجود جهاز automatic reactive power control relays وتربط المتسعات مركزيا عند لوحة االتوزيع الرئيسية بحيث يغطي المطلب الكلى ل reactive power وبعدة مقاطع تدخل الى العمل وتفصل بواسطة كونتكترات تتحكم فيها الجهاز الاتوماتيكي.



وهذه الطريقة هي اكثر استعمالا وشيوعا اليوم، ومركزيتها جعلتها سهلة المراقبة، وبوجود انواع جديدة ومتقدمة من automatic reactive power control relays بحيث يُمَكن من معرفة وضعية الكونتكترات، cosφ ، التيار الفعال والمتفاعل.
عادة تكون اجمالي المتسعات المستعملة اقل من اللازم وذلك بحساب الاحمال الكلية في الاعتبار عند التصميم،و خطوط النقل من اللوحة الرئيسية الى الاحمال معرضة للحمل الزائد.

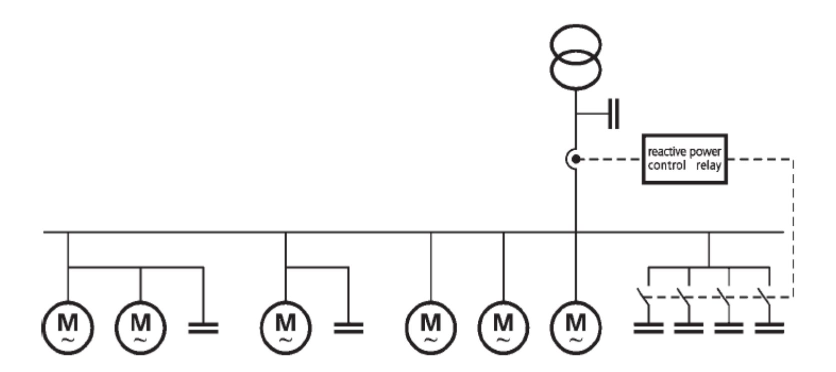






Figure2
جهاز منظم معامل القدرة الاتوماتيكي يتحكم ب(12) مجموعة من المتسعات يمكن تنظيم سرعة استجابته و تحديد قيمة cosφ كما يمكن استعماله يدويا .

3 – الربط المركب(الاوتوماتيكي مع المباشر):



الجمع بين الطرق الثلاثة يكون اكثراقتصاديا ويجمع مزايا كل منها .

وهناك انواع واشكال كثيرة من المتسعات تعتمد على الشركة المصنعة لها

طرق حساب قيم المتسعات

الاحمال التي تحتاج الى تحسين معامل قدرتها هي المحولات والماطورات ذات قدرات عالية عادة.

و يمكن حساب قيم المتسعات من الجداول اوعن طريق الحسابات ووحدة قياس هذه المتسعات هي **kvar** ومكتوبة عليها كما في الشكل 3.



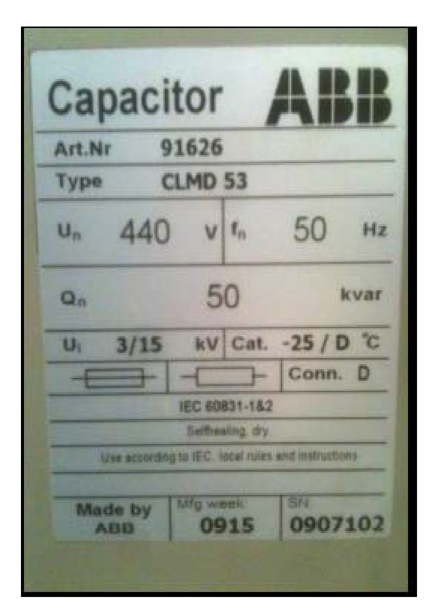


Figure3

لوحة البيانات على المتسعات تبين المواصفات وقيمتها وتختلف حسب الشركة المصنعة لها.

حساب قيم المتسعات للمحولات

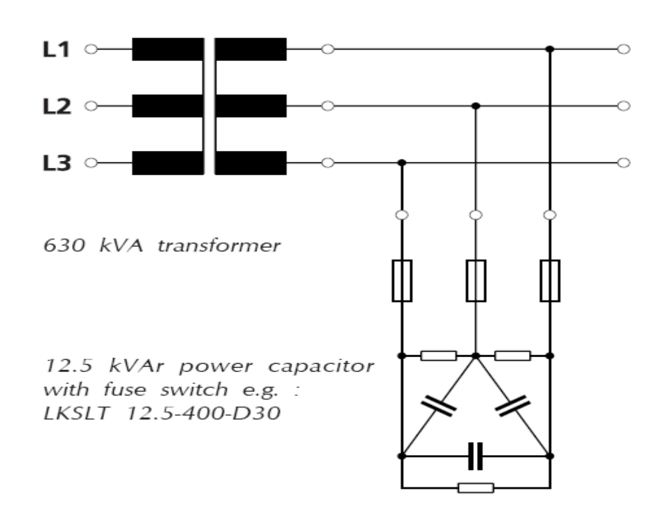
بالنسبة للمحولات تعتمد القيمة على نوعية ومنشأ المحولة، فالمنشأ يحدد القيمة الدقيقة لمحوالاتها لان اية زيادة في تلك القيمة تسبب ارتفاعا في قيمة الجهد عند حالة اللاحمل!.

مثلا يمكن استخراج القيمة من الجدول التالي لمحولات شركة (German Electricity Association (VDEW)

Transformer nominal rating in kVA	Capacitor power rating in kVAr
100 - 160	2.5
200 - 250	5
315 - 400	7.5
500 - 630	12.5
800	15
1000	20
1250	25
1600	35
2000	40

Approximate capacitor ratings for individual power factor correction of transformers (German Electricity Association (VDEW)

من الخطر جدا ربط المتسعات مباشرة الى المحولة دون استخدام قواطع الدورة وعلى المصمم توقع حدوث حالات short-circuit في خطوط ربط المتسعات،
ومن المستحسن استخدام قواطع دورة اتوماتيكية



حساب قيم المتسعات للماطورات

لحساب قيم المتسعات يجب اخذ 90% من القدرة الظاهرة (apparent power) للماطور عندما يدور في حالة اللا حمل:

$$Q_C = 0.9 \cdot \sqrt{3} \cdot V \cdot I_0$$

[VAr] [V] [A]

I_0 = no-load motor current

وهناك جداول لحسابها كالجدول التالي الذي وضع من قبل الجمعية الالمانية للكهرباء (VDEW) للماطورات ذات السرعة 1500 دورة في الدقيقة:

Motor nominal rating in kW			Capacitor power rating in kVAr
1	to	1.9	0.5
2	to	2.9	1
3	to	3.9	1.5
4	to	4.9	2
5	to	5.9	2.5
6	to	7.9	3
8	to	10.9	4
11	to	13.9	5
14	to	17.9	6
18	to	21.9	7.5
22	to	29.9	10
30	to	39.9	approx. 40% of motor power
40	or	above	approx. 35% of motor power

Approximate values specified by the VDEW for individual power factor correction of motors

تقل اوتزداد تلك القيم حسب سرعة الماطور :

عند سرعة 1000 دورة في الدقيقة تزداد القيم بنسبة 5%

و عند سرعة 750 دورة في الدقيقة تزداد القيم بنسبة 15%

وهذا جدول اخر لاستخراج قيمةالمتسعات للماطورات:

Individual Capacitor Rating in kVAr to improve Power Factor to 0.95 or better at all loads.

Motor Rating kW	2 Pole 3000 rpm	4 Pole 1500 rpm	6 Pole 1000 rpm
0.75	0.5 kVAr	0.5 kVAr	0.5 kVAr
1.1	0.5 kVAr	0.5 kVAr	1.0 kVAr
1.5	0.5 kVAr	1.0 kVAr	1.0 kVAr
2.2	1.0 kVAr	1.0 kVAr	1.5 kVAr
4.0	1.5 kVAr	1.5 kVAr	2.0 kVAr
5.5	2.0 kVAr	2.0 kVAr	3.0 kVAr
7.5	2.0 kVAr	2.0 kVAr	3.0 kVAr
11.0	3.0 kVAr	4.0 kVAr	5.0 kVAr
15	4.0 kVAr	5.0 kVAr	6.0 kVAr
18.5	5.0 kVAr	7.0 kVAr	8.0 kVAr
22	6.0 kVAr	8.0 kVAr	9.0 kVAr
30	8.0 kVAr	10.0 kVAr	12.0 kVAr
37	10.0 kVAr	12.0 kVAr	14.0 kVAr
45	12.0 kVAr	14.0 kVAr	16.0 kVAr
55	16.0 kVAr	22.0 kVAr	25.0 kVAr
75	18.0 kVAr	25.0 kVAr	30.0 kVAr
90	20.0 kVAr	30.0 kVAr	35.0 kVAr
110	25.0 kVAr	30.0 kVAr	40.0 kVAr
132	35.0 kVAr	40.0 kVAr	40.0 kVAr
160	40.0 kVAr	45.0 kVAr	50.0 kVAr

في ابسط الحالات تربط المتسعات مباشرة مع اقطاب الماطور ولا داعي الى الحماية من over current للمتسعات لان الحماية الموجودة للماطورتغطي الحماية للمتسعات.

لكن يجب تنظيم مقدار تيار قطع ال(over load) حيث:

$$I_{th} = \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} \cdot I_N$$

I_{th} = تيارالقطع الثاني بعد وضع المتسعات
I_N = التيارالذي مكتوب على لوحةالبيانات للماطور
$\cos \varphi_1$= القيمة المكتوبة على لوحةالبيانات للماطور
$\cos \varphi_2$= القيمة المفروضة بعد ربط المتسعات

فيما سبق عرفنا كيفية حساب قيم المتسعات للماطورات والمحولات كل حسب قدرته ومواصفاته الخاصة به ولكن اذا كان لدينا مقياس **power factor** على اللوحة واردنا رفع قيمة ***COS*** φ_1 الى ***COS*** φ_2

نستخدم هذا الجدول كالاتي

لوكان ***COS φ=*** 0.7 واردنا رفعه الى 0.98 ***Desired COS φ=*** والقدرة الكلية تساوي **1000 kw**

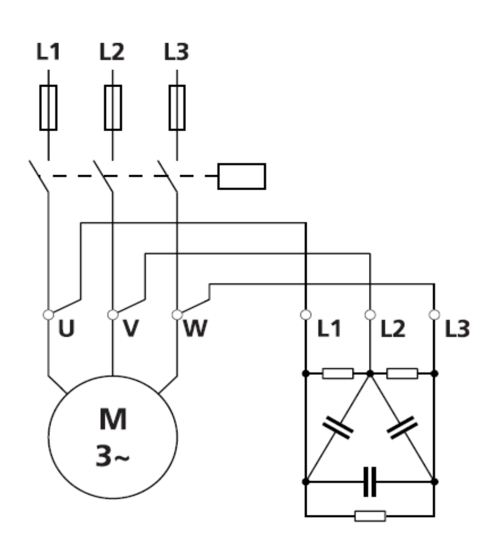
قيمة المتسعات تساوي

0.82*1000=820 kVAr

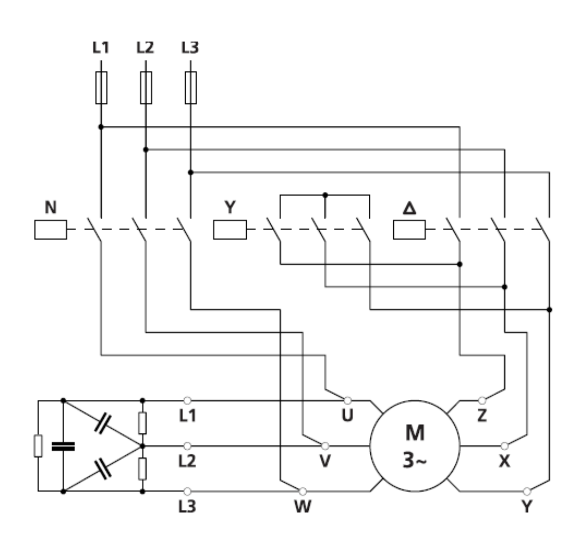
Uncorrected		Desired cos φ						
tan φ	cos φ	**0,80**	**0,85**	**0,90**	**0,92**	**0,95**	**0,98**	**1,00**
3.18	**0.30**	2.43	2.56	2.70	2.75	2.85	2.98	3.18
2.96	**0.32**	2.21	2.34	2.48	2.53	2.63	2.76	2.96
2.77	**0.34**	2.02	2.15	2.28	2.34	2.44	2.56	2.77
2.59	**0.36**	1.84	1.97	2.10	2.17	2.26	2.39	2.59
2.43	**0.38**	1.68	1.81	1.95	2.01	2.11	2.23	2.43
2.29	**0.40**	1.54	1.67	1.81	1.87	1.96	2.09	2.29
2.16	**0.42**	1.41	1.54	1.68	1.73	1.83	1.96	2.16
2.04	**0.44**	1.29	1.42	1.56	1.61	1.71	1.84	2.04
1.93	**0.46**	1.18	1.31	1.45	1.50	1.60	1.73	1.93
1.83	**0.48**	1.08	1.21	1.34	1.40	1.50	1.62	1.83
1.73	**0.50**	0.98	1.11	1.25	1.31	1.40	1.53	1.73
1.64	**0.52**	0.89	1.02	1.16	1.22	1.31	1.44	1.64
1.56	**0.54**	0.81	0.94	1.07	1.13	1.23	1.36	1.56
1.48	**0.56**	0.73	0.86	1.00	1.05	1.15	1.28	1.48
1.40	**0.58**	0.65	0.78	0.92	0.98	1.08	1.20	1.40
1.33	**0.60**	0.58	0.71	0.85	0.91	1.00	1.13	1.33
1.30	**0.61**	0.55	0.68	0.81	0.87	0.97	1.10	1.30
1.27	**0.62**	0.52	0.65	0.78	0.84	0.94	1.06	**1.27**
1.23	**0.63**	0.48	0.61	0.75	0.81	0.90	1.03	1.23
1.20	**0.64**	0.45	0.58	0.72	0.77	0.87	1.00	1.20
1.11	**0.67**	0.36	0.49	0.63	**0.68**	0.78	0.90	1.11
1.08	**0.68**	0.33	0.46	0.59	0.65	0.75	0.88	1.08
1.05	**0.69**	0.30	0.43	0.56	0.62	0.72	0.85	1.05
1.02	**0.70**	0.27	0.40	0.54	0.59	0.69	0.82	1.02
0.99	**0.71**	0.24	0.37	0.51	0.57	0.66	0.79	0.99
0.96	**0.72**	0.21	0.34	0.48	0.54	0.64	0.76	0.96
0.94	**0.73**	0.19	0.32	0.45	0.51	0.61	0.73	0.94
0.91	**0.74**	0.16	0.29	0.42	0.48	0.58	0.71	0.91
0.88	**0.75**	0.13	0.26	0.40	0.46	0.55	0.68	0.88
0.86	**0.76**	0.11	0.24	0.37	0.43	0.53	0.65	0.86
0.83	**0.77**	0.08	0.21	0.34	0.40	0.50	0.63	0.83
0.80	**0.78**	0.05	0.18	0.32	0.38	0.47	0.60	0.80
0.78	**0.79**	0.03	0.16	0.29	0.35	0.45	0.57	0.78
0.75	**0.80**	-	0.13	0.27	0.32	0.42	0.55	0.75
0.72	**0.81**	-	0.10	0.24	0.30	0.40	0.52	0.72
0.70	**0.82**	-	0.08	0.21	0.27	0.37	0.49	0.70
0.67	**0.83**	-	0.05	0.19	0.25	0.34	0.47	0.67
0.65	**0.84**	-	0.03	0.16	0.22	0.32	0.44	0.65
0.62	**0.85**	-	-	0.14	0.19	0.29	0.42	0.62
0.59	**0.86**	-	-	0.11	**0.17**	0.26	0.39	0.59
0.57	**0.87**	-	-	0.08	0.14	0.24	0.36	0.57
0.54	**0.88**	-	-	0.06	0.11	0.21	0.34	0.54
0.51	**0.89**	-	-	0.03	0.09	0.18	0.31	0.51
0.48	**0.90**	-	-	-	0.06	0.16	0.28	0.48
0.46	**0.91**	-	-	-	0.03	0.13	0.25	0.46
0.43	**0.92**	-	-	-	-	0.10	0.22	0.43
0.40	**0.93**	-	-	-	-	0.07	0.19	0.40
0.36	**0.94**	-	-	-	-	0.03	0.16	0.36
0.33	**0.95**	-	-	-	-	-	0.13	0.33
0.29	**0.96**	-	-	-	-	-	0.09	0.29

كيفية ربط المتسعات حسب ربط الماطور واستخداماته

<u>عند الربط الاعتيادي للماطور تربط المتسعات مباشرة مع اقطاب الماطور</u>



<u>في حالة ربط *star delta*</u> : تربط المتسعات مباشرة مع بداية الملفات الثلاثة للماطور



ملاحضة: المتسعات تكون مشحونة عند عمل الماطورات وفي حالة التوقف تفرغ هذه الشحنة في ملفات الماطو وقد يتسبب في تلفها ولكن غالبا ماتكون للمتسعات مفرغات داخلية عبارة عن مقاومات مربوطة على التوازي معها لجعلها آمنة عندما لايكون الربط مباشرا مع اطراف الماطور ويفضل ربط مفرغ الشحنات خارجيا كالملفات الخانقة او مقاومات.

<u>في حالة استخدام الماطورات في الرافعات والمصاعد والتي تتغير اتجاهها باستمرار</u>

كماهومعلوم ان الماطورات في هذه الحالة لاتدور في اتجاه وسرعة ثابتتين، لذلك تربط المتسعات بواسطة كونتكترات منفصلة وقبل ال(Controller) ويجب ربط ملفات خانقة بالتوازي معها لتسريع عملية التفريغ عند توقف الماطور وقبل دورانه عكسيا.

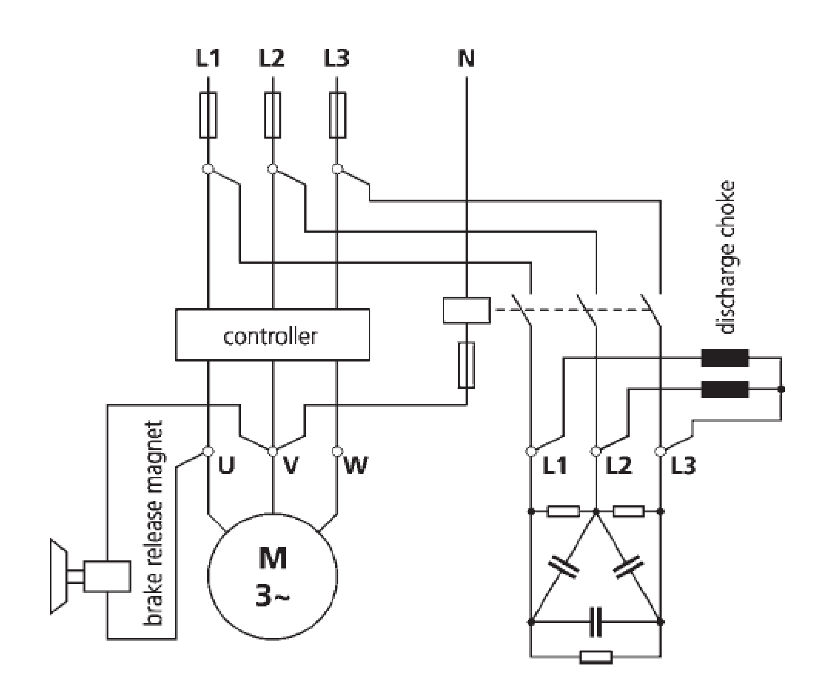




Figure4

الشكل 4 يبين كونتاكتر خاص بربط المتسعات ويمكن استخدام كونتكترات اعتيادية ولكن لاتكون بنفس الكفاءة



Figure5

الشكل 5 يبين متسعات مربوطة على شكل مجاميع داخل اللوحة الرئيسية وبطريقة الربط الاوتوماتيكي